



OMAKOTITALON JÄÄHDYTYS AURINKOSÄHKÖLLÄ

Otto Tikkanen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

OTTO TIKKANEN:

Omakotitalon jäähdytys aurinkosähköllä

Opinnäytetyö 32 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Huhtikuu 2015

Uusiutuvan energian tuotanto on viime vuosina kasvanut nopeasti. Ihmisiä on alkanut kiinnostaa erityisesti aurinkosähkö, johtuen sen päästöttömyydestä. Sitä voikin kutsua jo jonkinlaiseksi muoti-ilmiöksi. Erityisesti kiinnostusta herättävät kotitalouksiin rakennettavat aurinkopaneelijärjestelmät.

Suomessa kesällä aurinkosähkön tuotanto on varsin korkeaa. Ongelmana on, ettei kesällä ole tarvetta kyseiselle energialle, sillä kotitalouksien sähkölaskut koostuvat suurelta osin talvikuukausien lämmityskuluista. Talvella aurinkosähkön tuotanto onkin lähellä nollaa.

Tässä työssä perehdytään mahdollisuuteen jäähdyttää omakotitaloa kesällä aurinkosähköllä. Tämä toteutetaan akkukäyttöisesti, jotta talon sähkökeskukseen ei tarvitsisi tehdä muutoksia, eikä asennustyö tarvitsisi suurempaa ammattiosaamista.

Työn alussa perehdytään hieman aurinkopaneelin toimintaan ja laitteiston mitoittamisen teoriaan. Tämän jälkeen valitaan laitteisto ja mitoitetaan se sopivan kokoiseksi. Kun laitteisto on kasassa, tarkastellaan erilaisten sääolojen vaikutusta jäähdytyksen toimintaan.

Työn lopussa tarkastellaan, kuinka paljon laitteisto maksaa ja kuinka paljon sillä säästetään tai menetetään rahaa. Myös vertaillaan kuinka paljon vaikutusta olisi laitteiston hintojen alenemisella ja sähkön hinnan nousulla. Laitteisto ei tällä hetkellä tuota taloudellista hyötyä, koska akkujen investointiin menee liian suuri summa rahaa.

Asiasanat: aurinkosähkö, akkukäyttöinen, jäähdytys

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Electric Power Engineering

OTTO TIKKANEN:

Cooling detached house with solar electricity

Bachelor's thesis 32 pages, appendices 0 pages

April 2015

Production of renewable energy has grown rapidly in past years. People have begun to be more and more interested in photovoltaics because it is emission-free. It has reached the point that some would argue it to be a so called fashion phenomenon. Especially household solar panel systems are getting lots of attention.

Production of photovoltaics in summer is pretty high in Finland. The problem is that there is no need for that much electricity in summer because Finnish people use electricity mainly in winter for heating. In winter production of photovoltaics is next to nothing.

This thesis focuses to the possibility of cooling a house with solar photovoltaics. This is implemented with battery-operated system so there is no need to make any changes to the main center for electricity. Also you don't need much professional know-how.

At the beginning of this thesis the focus is in solar panel theory and dimensioning of the equipment. When the equipment is assembled, focus is in cooling system. How it works and how different weather conditions may alter its functions.

The final part of the thesis focuses on the economic efficiency of the use of the solar panel system. It measures how much money is saved or lost by using this system. It also compares what would be the effect of decreased costs of this system and the increase of prices in electricity. The equipment is unprofitable at the moment because of the high cost of batteries.

Key words: solar photovoltaic, battery-operated, cooling

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEORIA	7
3	LAITTEISTON VALINTA.....	11
3.1	Aurinkopaneeli.....	11
3.2	Akku.....	13
3.3	Invertteri.....	15
4	SÄÄTILAN VAIKUTUS.....	16
4.1	Aurinkoinen kevät- / kesäpäivä	16
4.2	Puolipilvinen kevät- / kesäpäivä	19
4.3	Pilvinen kevät- / kesäpäivä	20
5	HINTALASKELMAT	23
5.1	Laitteiston hinnat	24
5.2	Laitteiston sähköntuotanto euroissa.....	26
5.3	Laitteiston kannattavuus tällä hetkellä.....	27
5.4	Laitteiston kannattavuus tulevaisuudessa	28
6	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	32

LYHENTEET JA TERMIT

AC	vaihtosähkö
DC	tasasähkö
Invertteri	muuttaa vaihtosähkön tasasähköksi ja päinvastoin
U	jännite
V	voltti (jännitteen yksikkö)
I	virta
A	ampeeri (virran yksikkö)
R	resistanssi
Ω	ohmi (Resistanssin yksikkö)
P	teho
W	watti (tehon yksikkö)
t	aika
E	energia
kWh	kilowattitunti (energian yksikkö)
E_{kap}	akkuun varastoitunut energian määrä
Ah	ampeiritunti (akun varauksen yksikkö)

1 JOHDANTO

Suomessa aurinkosähkön tuotanto on yleistynyt viimevuosien aikana nopealla tahdilla. Tähän on syynä aurinkopaneelien hinnan lasku, johon suurelta osalta on vaikuttanut Kiinan kasvava massatuotanto kyseisellä alalla. [1] Toinen suuri syy on ollut ihmisten kasvava kiinnostus uusiutuvan energian ja nimenomaan aurinkosähkön tuotantoon.

Kotitalouksiin ja julkisiin rakennuksiin asennettavia mikrotuotantolaitoksia näkyy nykyään enenevässä määrin. Järjestelmiä rakennetaan niin säästö- kuin imagosyistäkin. Monesti nämä molemmat syyt vaikuttavat päätökseen hankkia aurinkopaneelijärjestelmä, jolloin hyöty on kaksinkertainen.

Suomen olosuhteissa aurinkosähkön tuotanto on aurinkoisena kesä- ja kevätpäivänä varsin korkeaa. Pilvisenä päivänä se saattaa tosin pudota helposti jopa viidesosaan. [1] Talvikuukausina aurinkosähkön tuotanto on lähellä nollaa ja tasan nolla, jos paneeleita ei ole putsattu lumesta.

Vaikka sääolosuhteet vaikuttavat paljon tuotantoon, ei se ole suurin ongelma. Suomen korkeusasteella suurin osa sähkökustannuksista menee talvikuukausina lämmityskuluihin. Ja kuten aiemmin sanottu, silloin ei saada tuotantoa. Aurinkosähkön suurin ongelma on siis se, etteivät tuotanto ja kulutus kohtaa ajallisesti toisiaan.

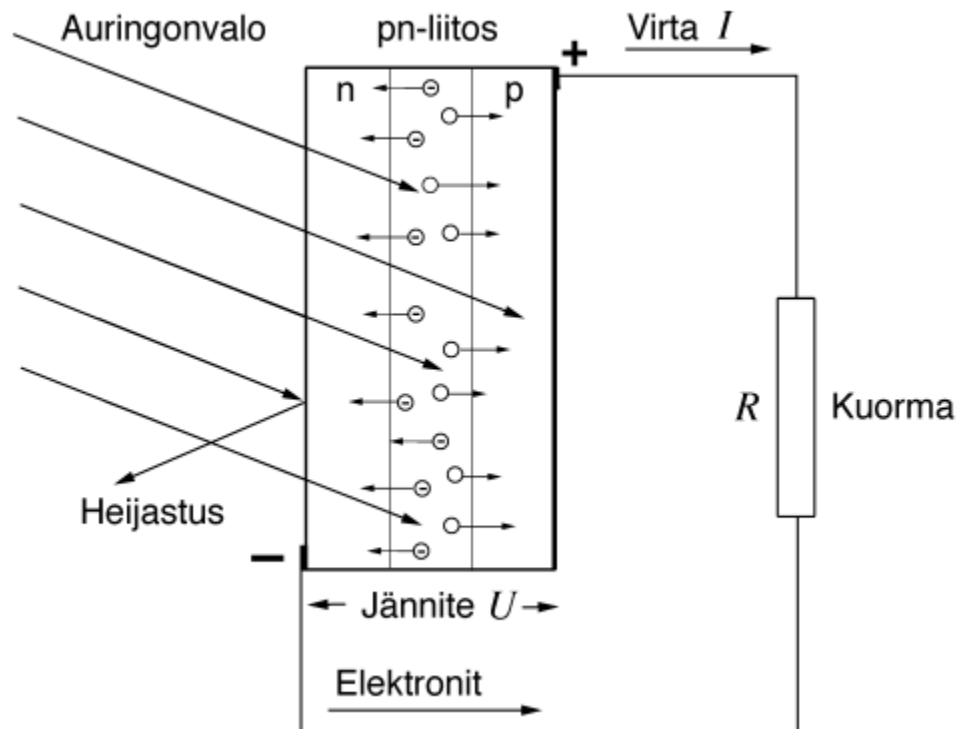
Tässä työssä on keskitytty kuluttamaan tuotettu sähkö silloin, kun sitä on. Ja aurinkoisena päivänä omakotitalon jäähdytys tulee etsimättä mieleen. Jäähdytys toteutetaan ilmalämpöpumppua apuna käyttäen ja aika jolloin sitä oletetaan tarvitsevan, on hutikuun ja elokuun välinen aika.

Tämä toteutus tehdään erilailla, kuin yleensä omakotitalouksissa. Tarkoituksena on, ettei tämän järjestelmän asentamisessa tarvitse ottaa huomioon kaikkia yleiseen sähköverkkoon liittymiseen kuuluvia säädöksiä ja lakeja, vaan se on täysin erillinen järjestelmä. Toteutus tapahtuu akkukäyttöisesti. Näin ollen tämän laitteiston asentajan ei tarvitse tehdä muutoksia oman talonsa pääkeskukseen.

2 TEORIA

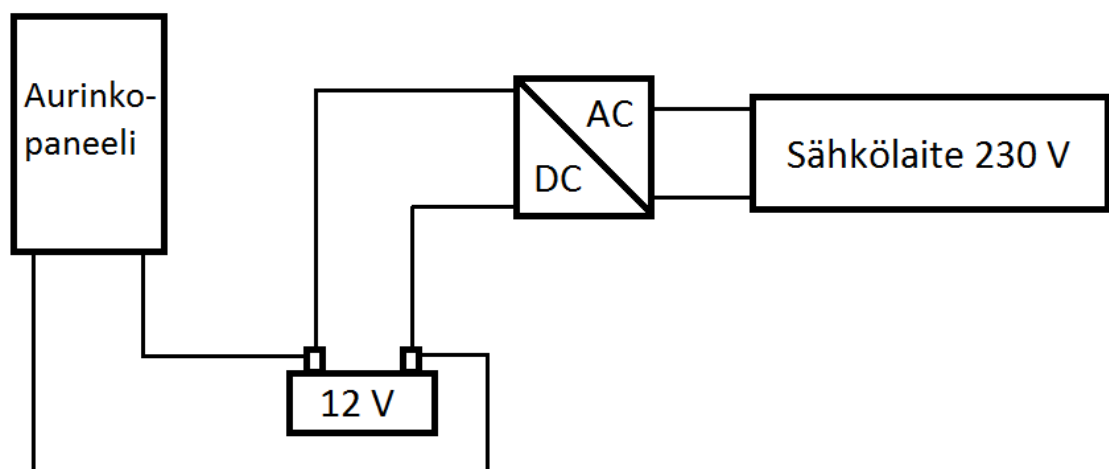
Aurinkosähkö on sähköenergiaa, jota tuotetaan auringon säteilyenergian avulla. Tässä prosessissa hyödynnetään valosähköistä ilmiötä. Valosähköinen ilmiö on sähköinen muutos kappaleessa, joka on altistunut valolle. Yksinkertaisesti aurinkosähkö syntyy, kun osa auringon säteilyn fotonien energiasta siirtyy aurinkopaneelin puolijohteiden elektroneille. Elektronien kasvanut energia hyödynnetään sähköenergiana. Koko prosessi on varsin yksinkertainen, josta johtuen paneeleilla on suuri käyttövarmuus ja olematon huoltotarve. [2]

Kuvassa 1 on esitetty aurinkokennon rakenne. Aurinkokenno on kuin suuri fotodiodi, jossa kahden eri tyypin puolijohdemateriaalit ovat yhdistetty. Tämä näkyy kuvassa p- ja n-puolena. Auringon valon osuessa kennoon osa fotoneista pääsee ohuen pinnan läpi pn-liitokseen muodostaen elektroni-aukkopareja. Pn-liitoksen lähellä muodostuneet parit luovuttavat elektronit n-puolelle, jolloin aukot siirtyvät p-puolelle. Elektronit voivat kulkea vain yhteen suuntaan, johtuen sähkökentästä joka on muodostunut rajapintaan. Ne kulkevat ulkoista johdinta pitkin p-tyypin puolijohteeseen, jossa ne yhdistyvät aukkojen kanssa. Valon osuessa paneeliin sen eri puolilla on erimerkkiset varaukset, jolloin paneeli toimii jännitelähteenä. [3]



KUVA 1: Aurinkopaneelin toimintaperiaate [3]

Tässä työssä erona kuvaan 1 on se, että kuorman tilalle sijoitamme 12 voltin akun. Akkua ladataan aurinkosähköllä ja puretaan akun napoihin liitettyllä kuormalla eli sähkölaitteella. Sähkölaitteen ja akun välille täytyy sijoittaa invertteri, sillä aurinkopaneeli tuottaa ja akku varastoi tasasähköä ja työssä käytettävä sähkölaite vaatii vaihtosähköä. Kuvassa 2 on esitetty laitteiston yksinkertainen kuva.



KUVA 2: Akkukäyttöinen aurinkopaneelijärjestelmä

Kuvan 2 laitteiden kokojen valinta on varsin yksinkertaista. Ensimmäisenä täytyy laskea kuinka paljon energiaa tarvitaan. Tämä ilmoitetaan kilowattitunteina, jonka tunnus on E , ja lasketaan kaavalla (1).

$$E = P_k \cdot t \quad (1)$$

, missä P_k on laitteen teho kilowateissa ja t on aika tunneissa.

Aurinkopaneelia mitoittaessa kaavalla (2) täytyy ottaa huomioon ajan aiheuttama laitteen ikääntyminen ja häviöt jotka aiheutuvat laitteistossa. Häviöitä ovat tehoelektroniikan aiheuttamat häviöt, joihin on laskettu mukaan invertterin aiheuttamat häviöt ja akun aiheuttamat häviöt. Tehoelektroniikan häviöt ovat keskimääräisesti 10 % [4] ja akun häviöt lasketaan kaavalla (3). Kaava (4) on toisen asteen yhtälö ja sitä tarvitaan virran määrittämiseen kaavaa (3) varten.

$$P_{Np} = \frac{E}{\frac{100-(h_t+h_a)}{100} \cdot \left(1 - \frac{2}{245} \cdot t\right) \cdot t_h} \quad (2)$$

, missä h_t on tehoelektroniikan aiheuttamat häviöt prosentteina, h_a on akun aiheuttamat häviöt prosentteina, t on aika vuosissa, joka laitteita käytetään ja t_h on huipunkäyttöaika.

Akun sisäinen resistanssi laadukkaissa akuissa on 3 mΩ:n luokkaa. [5] Ikääntymisen aiheuttaman sisäisen resistanssin kasvamisen takia on hyvä käyttää aina kaksinkertaista arvoa eli 6 mΩ:a. Kaavassa (3) on käytetty toista potenssia ja tämä johtuu siitä, että häviöt tapahtuvat niin ladattaessa kuin purkaessakin.

$$h_a = 100 - \left(1 - \frac{R_s \cdot I^2}{R_s \cdot I^2 + P_k}\right)^2 \cdot 100 \quad (3)$$

, missä R_s on akun sisäinen resistanssi ja I on virta.

$$R_s \cdot I^2 - U \cdot I + P_k = 0 \quad (4)$$

, missä U on jännite.

Kun paneeli on määritetty, täytyy selvittää akustoon tarvittava kapasiteetti ja napajännite. Akun jännitteeksi valitaan sama jännite kuin paneeleissa. Toiseksi täytyy laskea kuinka paljon aurinkopaneeli tuottaa maksimissaan energiaa. Tämä lasketaan kaavalla (5) parhaiden olosuhteiden mukaan, mikä tarkoittaa sijainnista riippuvaa suurinta huipunkäyttöajan valintaa, joka on Etelä-Suomessa 6,48 tuntia. [4]

$$E = P_{Np} \cdot \frac{100-(h_t+h_a)}{100} \cdot \left(1 - \frac{2}{245} \cdot t\right) \cdot t_h \quad (5)$$

Akuissa kapasiteetti ilmoitetaan ampeeritunneissa ja sen symboli on E_{kap} . Kaavalla (6) muutetaan paneelien tuottama energia akun kanssa yhtenevään yksikköön.

$$E_{kap} = \frac{E \cdot 1000}{U} \quad (6)$$

3 LAITTEISTON VALINTA

Laitteiston valinnalla tässä työssä tarkoitetaan käytännössä kolmen laitteen mitoittamista oikean kokoisiksi. Ensimmäinen laitteista on aurinkopaneeli, jonka koko täytyy määrittää ennen kuin muita laitteita voidaan valita. Mutta ennen kuin aurinkopaneelia voidaan valita, täytyy selvittää itselleen laitteiston käyttötarkoitus.

Tässä työssä on tarkoitus toteuttaa sisäilman jäähdytys ilmalämpöpumpulla. Ilmalämpöpumpun tehon tarve vaihtelee malleittain ja käyttötarkoituksittain. [6]

Aurinkopaneeli tulee valita siten, että se tuottaa tehoa tarvittavan määrän, koska ylituotanto aiheuttaa turhia kustannuksia paneeleissa ja akuissa. Tämän takia pitääkin ensin tarkastella laitetta tai laitteita joita halutaan käyttää. Tärkeä seikka on myös milloin laitteita halutaan käyttää.

Tässä tapauksessa käytettävä laite on ilmalämpöpumppu. Ilmalämpöpumppujen nimellistehot vaihtelevat tavallisesti 0,5 ja 1,5 kW:n välillä. Nimellistehoon vaikuttaa ilmalämpöpumpun koko, joka määräytyy jäähdytettävän alueen koosta. [6]

3.1 Aurinkopaneeli

Ensimmäinen esimerkki haluttavasta jäähdytyksestä on pienitehoisin. Tässä tapauksessa halutaan jäähdyttää asuntoa kahden tunnin ajan ennen nukkumaanmenoa, esimerkiksi kahdeksasta kymmeneen. Ideana on että aurinkopaneeli lataa akkua päivällä, joka tyhjenee illalla jäähdytyksessä.

Toisena esimerkkinä on tilanne, jossa jäähdytysaika tuplataan. Asuntoa halutaan jäähdyttää kaksi kahden tunnin jaksoa. Tähän toimiva esimerkki olisi jäähdytys kahdesta neljään, jolloin asunto olisi viileä töistä tullessa, ja aikaisemmin mainittu iltajäähdytys. Tämä tilanne toteutuu tuplaamalla edellisen laitteiston koko.

Kolmas esimerkki vaatii eniten tehoa. Siinä on tarkoitus pitää sisätila kokoajan viilennettynä muutamia asteita ulkolämpötilaan verrattuna. Tämä esimerkki on eniten

riippuvainen vallitsevasta säästä. Tosin huomioitavaa on myös se, ettei pilvisellä säällä tarvita niin paljoa jäähdytystä kuin aurinkoisella.

Lähtökohtana laskelmissa toimiikin aurinkoinen sää. Jos asuntoa pystytään jäähdyttämään kuumimpana mahdollisena päivänä, voidaan olettaa että jäähdytys riittää viileämpinäkin päivinä.

Keskivertainen nimellisteho ilmalämpöpumpulle on 1 kW. [6] Ensimmäisen esimerkin mukaan, kun sitä käytetään kaksi tuntia, saadaan kaavalla (1) sen kulutukseksi 2 kWh. Aurinkoisen päivän huipunkäyttöaika on 6,48 tuntia, [4] tehoelektroniikan häviöt ovat 10 % ja paneelin hyötysuhde laskee vajaan prosenttiyksikön joka vuosi. Kaavalla (3) laskettu akun tehohäviö on ensimmäisessä ja toisessa esimerkissä 8,52 % ja kolmannessa 2,12 %. Koska aurinkopaneelin käyttöiäksi arvioidaan 30 vuotta, täytyy sen tuottaa vaadittava teho vielä silloinkin. Tästä aiheutuu, että aurinkoisina päiviä saadaan jäähdytystä aina yli haluttu kaksi tuntia. Paneelin nimellistehoksi kaavalla (2) saadaan 0,50 kW.

Vaihtoehtoisesti mitoitetaan paneeli tuottamaan vaadittua tehoa 15 vuoden kohdalla. Tästä aiheutuu, ettei haluttua jäähdytysaikaa saavuteta sen jälkeen, mutta laitteiston kustannukset laskevat. Kaavalla (2) saadaan paneelin nimellistehoksi 0,43 kW

Toisessa esimerkissä jäähdytystä oli yhteensä neljä tuntia. Kaavalla (1) saadaan tehon tarpeeksi 4 kWh. Kaavaa (2) käyttäen saamme paneelin tehoksi 1 kW. Jälleen kun mitoitamme paneelin tuottamaan haluttu teho 15 vuoden kohdalla, saadaan kaavalla (2) paneelin nimellistehoksi 0,86 kW.

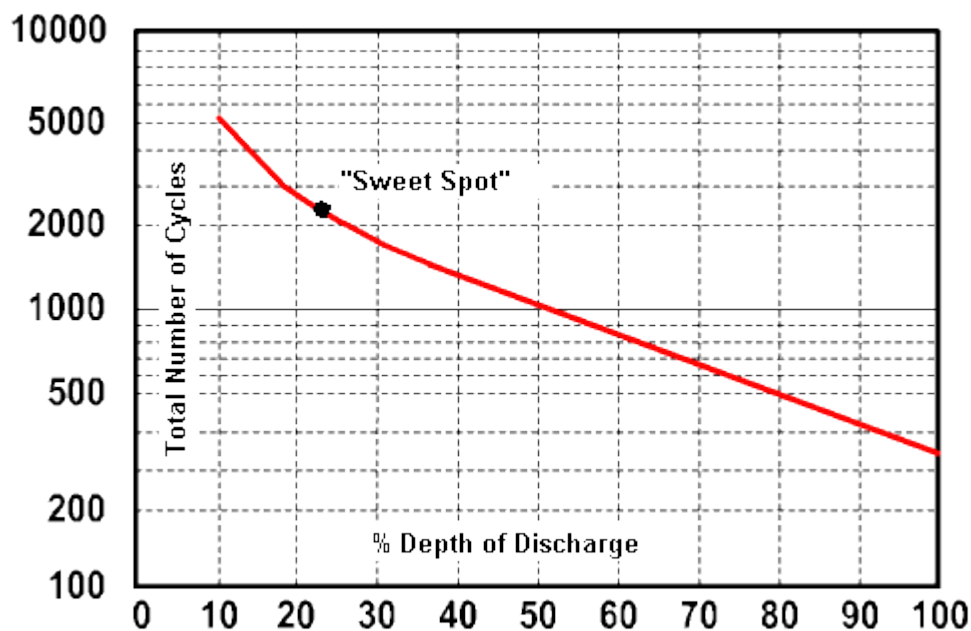
Kolmannessa esimerkissä oletetaan 12 tunnin jäähdytyksen riittävän. Tämän jälkeen yöllä tulee 12 tunnin tauko jäähdytykseen, jolloin lämpötila ei silti pääse nousemaan. Ilmalämpöpumpun tehoksi riittää puolet nimellistehosta eli 0,50 kW, koska sisälämpötila ei pääse koskaan nousemaan liian korkeaksi. Kaavalla (1) saadaan tehontarpeeksi 6 kWh ja kaavalla (2) paneelin tehoksi 1,38 kW. 15 vuoden kohdalle mitoitettu jäähdytysaika saadaan 1,19 kW:n paneelistolla.

3.2 Akku

Akuston valintaan vaikuttaa usea eri asia. Ensimmäinen näistä on aiemmin valittujen paneelien tuottama teho. Akuston tulee voida varastoida tämä energia määrä kokonaisuudessaan, jotta tuotantoa ei menisi hukkaan. Lisäksi sen ylittämistä pitää välttää, etteivät investointikustannukset kasvaisi turhaan.

Toinen tärkeä seikka on akuston ikääntyminen. Akun elinkaari mitataan lataus- / purkusykkeissä. Tämä luku määrittää sen, kuinka monta kertaa akusta saadaan virtaa ja edelleen kuinka pian akku tulee vaihtaa. Lataus- / purkusykli luku riippuu myös purkusyvyydestä.

Kolmas asia joka tulee huomioida akun valinnassa, onkin purkusyvyys. Tämä luku määrittää sen kuinka suuri prosenttiosuus akusta voidaan purkaa rasittamatta sitä liikaa. Mitä syvemmälle akku puretaan, sitä nopeammin se ikääntyy ja näin ollen lataus- / purkusykli luku pienenee. Tämä suhde näkyy hyvin kuvassa 3. Hyvä akun purkusyvyys on esimerkiksi 40 % [7] ja tätä lukua käytetäänkin tässä työssä. 40 %:n purkusyvyydellä saamme lataus- / purkusykli luvuksi 1400.



KUVA 3. Lataus- / purkusyklin ja purkusyvyyden suhteellinen kuvaaja [8]

Purkusyvyys ei pysy vakiona koko akun eliniän aikana vaan kasvaa vähän joka käytön jälkeen. Kun lataus- / purkusyklimäärä, joka kuvaajasta nähdään, on saavutettu,

purkusyvyys on saavuttanut maksiminsa. Tämä tarkoittaa, ettei tämän hetken jälkeen akusta saada enää toivottua määrää tehoa ja se tulisi vaihtaa uuteen.

Ensimmäisessä esimerkissä valittiin 0,43 kW:n ja 0,50 kW:n paneelit. Tässä mallissa oli tarkoitus ladata akkua päivällä ja purkaa illalla. Akun koko täytyy siis mitoittaa parhaan mahdollisen tuotantopäivän mukaan.

Kaavalla (5) saamme 0,43 kW:n paneelin päivittäiseksi tehotuotannoksi 2,26 kWh:a. Kun tämä muunnetaan ampeeritunneiksi kaavalla (6), saadaan tulokseksi 188 Ah. Tämä ampeeritunti määrä jaetaan halutulla purkusyvyydellä ($40\% = 0,4$), jolloin tulokseksi saadaan 471 Ah:a. Ensimmäisessä esimerkissä 0,43 kW:n paneelistolla tarvitaan siis 471 Ah:n akusto. Samoilla kaavoilla laskettuna 0,50 kW:n paneelin päivittäinen tehotuotanto on 2,62 kWh:a, joka vastaa 218 Ah:a. Tähän järjestelmää tarvitaan siis 546 Ah:n akusto

Toisessa esimerkissä valittiin 0,86 kW:n ja 1 kW:n paneelit. Näissä järjestelmissä oli tarkoitus purkaa akut kaksi kertaa päivässä. Paneelit ovat kaksinkertaiset edelliseen esimerkkiin verrattuna, josta seuraa että tehontuotantokin on kaksinkertainen. Tästä seuraisi että akkujenkin koko tulisi tuplata, mutta purkutiheyden kaksinkertaistuminen kumoaa tämän. Akut siis ovat samankokoiset kuin ensimmäisessä esimerkissä, mutta vanhenevat puolet lyhyemmässä ajassa.

Kolmannessa esimerkissä valitut paneelit olivat 1,19 kW:n ja 1,38 kW:n tehoisia. Kaavalla (5) lasketut päivittäiset tehontuotannot näillä paneeleilla olivat 6,78 kWh ja 7,86 kWh. Ampeeritunneiksi kaavalla (6) muutettuina nämä luvut ovat 565 Ah:a ja 655 Ah:a. Akkuihin ei kuitenkaan koskaan ladata näin suurta määrää energiaa, sillä niitä puretaan samanaikaisesti. Akuissa on kerrallaan korkeintaan kolmasosa päivittäisestä tuotannosta. Näin ollen ampeeritunti arvo tulee jakaa kolmella ennen kuin se jaetaan 0,4:llä. Tästä seuraa että 1,19 kW:n järjestelmä tarvitsee 471 Ah:n akuston ja 1,38 kW:n järjestelmä tarvitsee 546 Ah:n akuston. Näissä järjestelmissä voidaan arvioida purkukertoja tulevan 2 kertaa päivässä, sillä niiden jatkuva samanaikainen lataaminen ja purkaminen pitää akun varaustasoa tasaisempana kuin aiemmissa malleissa.

3.3 Invertteri

Invertterin valinta on helpoin osa laitevalinnassa. Tässä vaiheessa on jo määritelty, mitä jännitettä saadaan ja mitä halutaan. Tämän työn aurinkopaneelit tuottavat 12 voltia tasajännitettä (12 V DC). Ilmalämpöpumppu toimii 230 voltin vaihtojännitteellä (230 V AC).

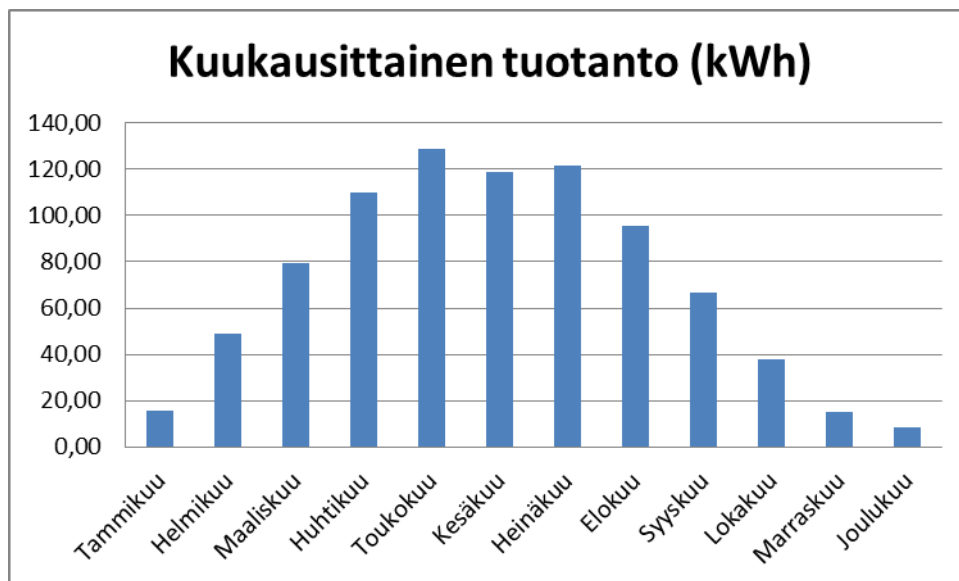
Järjestelmä on akkukäyttöinen, joten invertterin tulee olla kyseiseen käyttöön soveltuva. Verkkoon kytkettävät invertterit eivät toimi tässä laitteistossa. Lisäksi invertterin tulee olla riittävän tehokas, jotta sen kautta saadaan riittävä teho. Ilmalämpöpumpun tehon ollessa 1 kW täytyy invertterin olla silloin isompitehoinen, esimerkiksi Victron SinusMax 12/1200 invertteri. [9]

4 SÄÄTILAN VAIKUTUS

Suomessa sääolosuhteet aiheuttavat suurimman ongelman aurinkosähköntuotantoon. Keväällä ja kesällä tuotanto on erinomaista, jopa Pohjois-Saksan tasoa. Syksyllä ja talvella se puolestaan putoaa lähes olemattomaksi.

Tässä työssä kaikki aurinkopaneelit ovat asennettu katoille 42° kallistuskulmaan ja suunnattu etelään. Tämä on Etelä-Suomen leveysasteella optimaalisin asennustapa. [2] Lisäksi on oletettu, ettei paneelien varjostumista tapahdu.

Kuvassa 4 on esitetty yhden kilowatin aurinkopaneeliston tuottama sähköteho eri kuukausina. Se havainnollistaa hyvin suomen vaihtelevia olosuhteita. Talvella Etelä-Suomessa auringonvaloa on keskimäärin vain 5,5 tuntia vuorokaudessa kun taas kesäkuussa sitä on jopa 19,5 tuntia vuorokaudessa.



KUVA 4. Keskimääräinen kuukausittainen tuotanto 1kW paneelistolla [2]

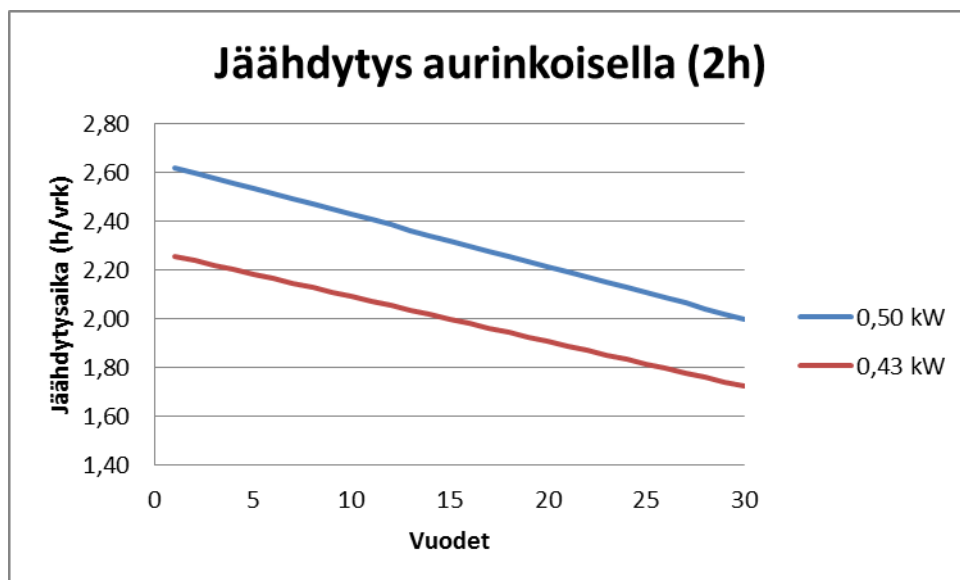
4.1 Aurinkoinen kevät- / kesäpäivä

Aurinkoisina kevät- ja kesäpäivinä aurinkosähkön tuotanto on varsin korkealla. Laitteiston valittuamme voimme perehtyä tarkemmin, kuinka paljon saamme tehoa

hyödynnettyä suoraan jäähdytykseen. Lisäksi voimme vertailla kuinka paljon tuotanto laskee vuosien kuluessa.

Ensimmäisessä esimerkissä käytössä olivat 0,50 kW:n ja 0,43 kW:n paneelit. 0,50 kW:n paneelilla saatiin tuotettua haluttu teho vielä 30 vuoden päästäkin ja 0,43 kW:n paneelin tuottama teho laskee vaadittuun 15 vuoden kuluttua.

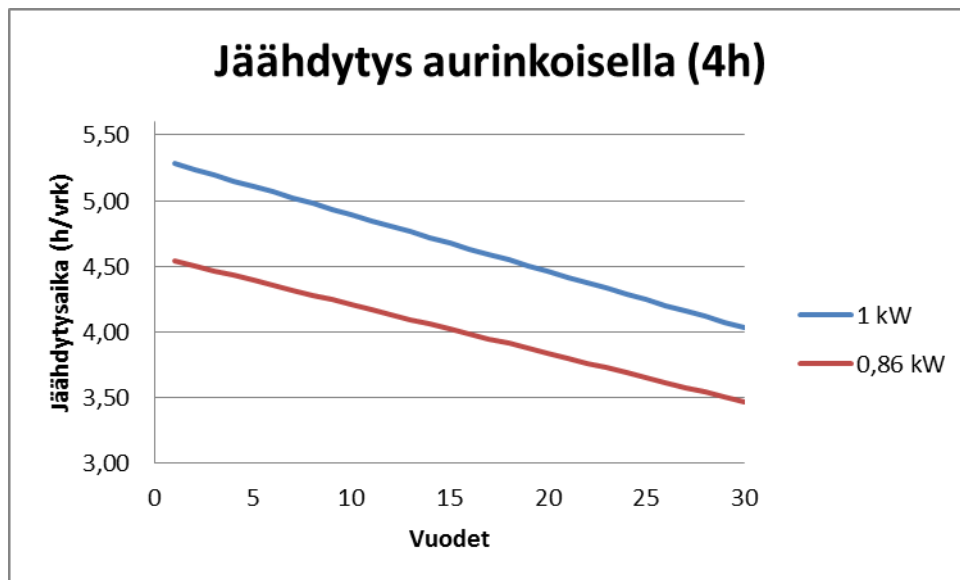
Kuvassa 5 näemme kuinka jäähdytys laskee tasaisesti vuosien kuluessa. 0,50 kW:n järjestelmässä saadaan alussa yli 2,6 tuntia jäähdytystä, joka on 15 vuoden kuluttua laskenut noin 2,3 tuntiin. 0,43 kW:n järjestelmä tuottaa alussa tehoa 2,2 tunnin jäähdytykseen, mutta 30 vuoden kohdalla riittää vain 1,7 tunnin jäähdytykseen.



KUVA 5. Jäähdytysaika aurinkoisena päivänä kahden tunnin järjestelmällä

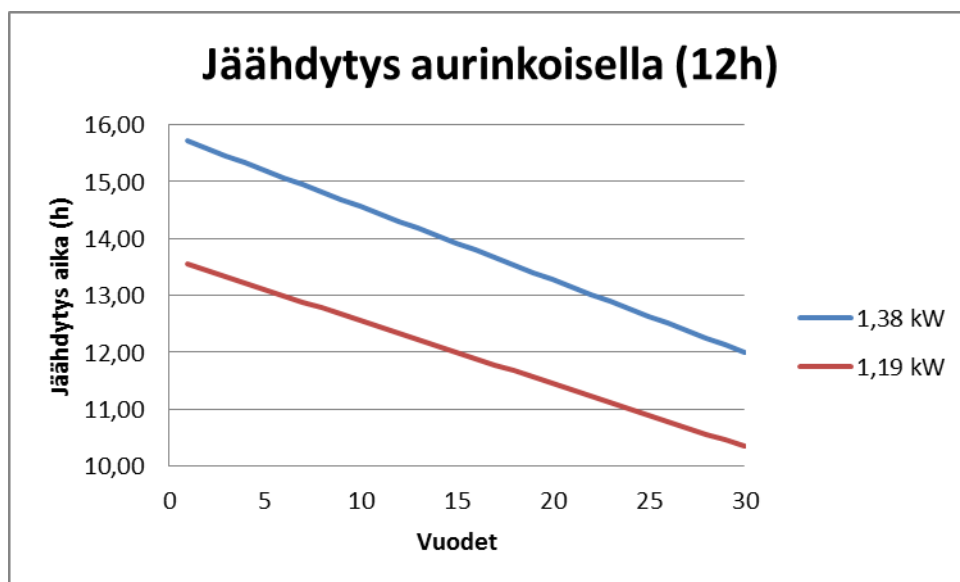
Toinen esimerkki oli päivittäinen neljän tunnin jäähdytys. Tähän oli valittu 1 kW:n ja 0,86 kW:n paneelit. Paneelien kokojen kasvaessa jäähdytysaikojen erot kasvavat toisiinsa nähden

Kuvassa 6 on esitetty näiden paneelien tuottamat tehot muunnettuina jäähdytys ajoiksi. 1 kW:n järjestelmästä saa alussa jopa 5,2 tuntia jäähdytysaikaa, joka on jo 1,2 tuntia enemmän kuin haluttu 4 tuntia. 0,86 kW:n järjestelmästä saa alussa 4,5 tuntia jäähdytysaikaa ja se on 30 vuoden kuluttua tippunut 3,4 tuntiin.



KUVA 6. Jäähdytysaika aurinkoisena päivänä neljän tunnin järjestelmällä

Kolmannessa esimerkissä käytettyjen 1,38 kW:n ja 1,19 kW:n paneelien tuottama jäähdytysaika näkyy kuvassa 7. Siitä selviää kuinka isommalla paneelistolla saadaan alkuvuosina melkein 16 tuntia ja pienemmällä noin 13,5 tuntia jäähdytysaikaa. 30 vuoden kuluttua nämä paneelit tuottavat tehoa noin 12 ja 10,5 tunnin jäähdytykseen.

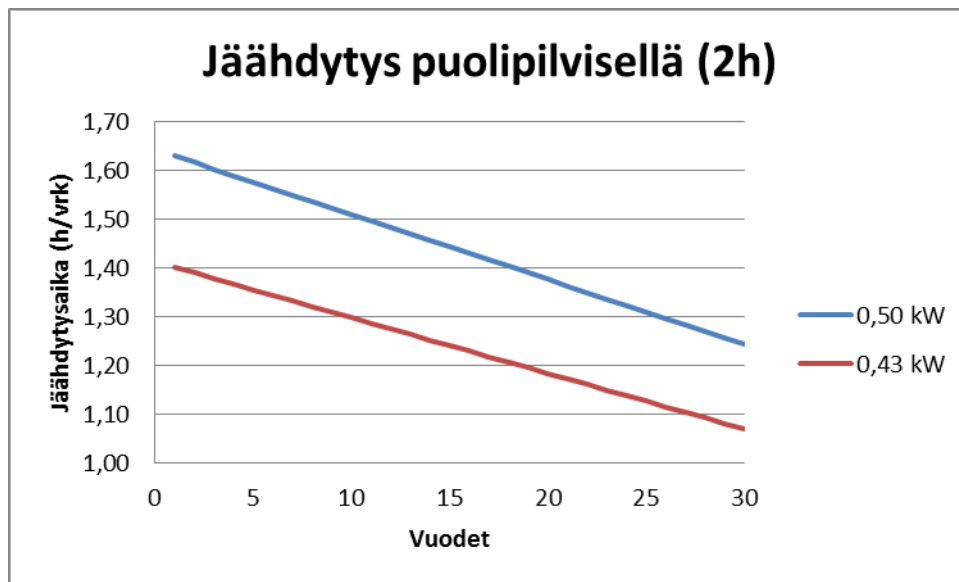


KUVA 7. Jäähdytysaika aurinkoisena päivänä 12 tunnin järjestelmällä

4.2 Puolipilvinen kevät- / kesäpäivä

Kun järjestelmä on mitoitettu aurinkoisen sään mukaan, voidaan tarkastella laitteiston toimintaa muissa olosuhteissa. Puolipilvisenä kevät- tai kesäpäivänä aurinkosähköntuotanto on vielä varsin kannattavaa. Huipunkäyttöaika on noin neljä tuntia. [4]

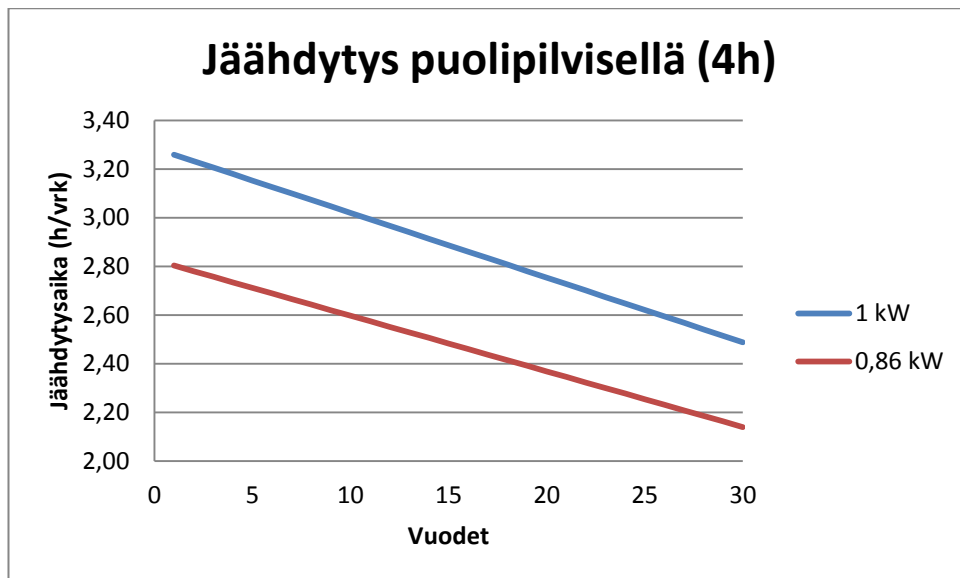
Kuvasta 8 nähdään, kuinka kahden tunnin järjestelmät toimivat puolipilvisellä säällä. Tehokkaammalla mallilla saadaan jäähdytystä 1,6 tuntia ja pienemmällä laitteistolla 1,4 tuntia ensimmäisenä vuotena. 30 vuoden kuluttua nämä ajat ovat noin 1,2 ja 1,1 tuntia.



KUVA 8. Jäähdytysaika puolipilvisenä päivänä kahden tunnin järjestelmällä

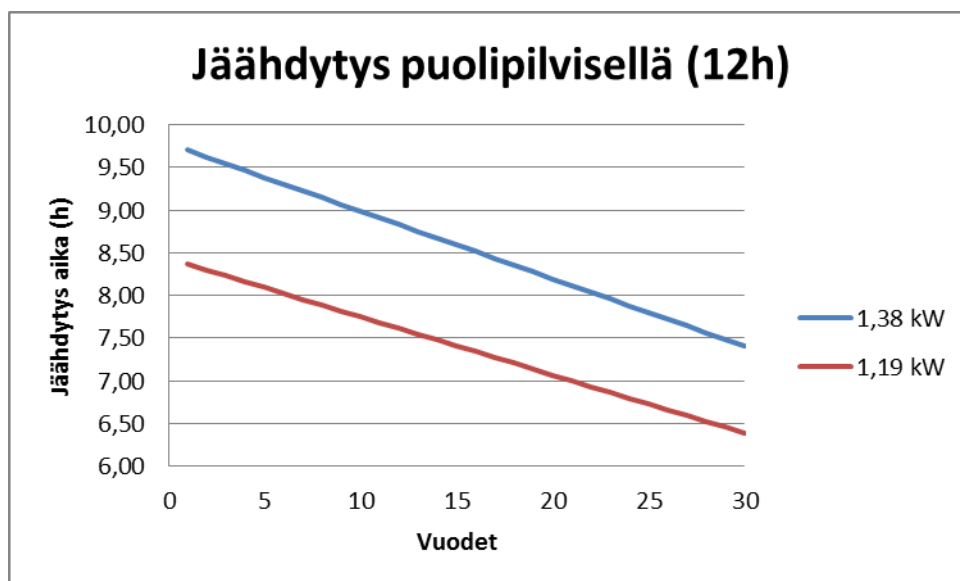
Kun vertaa näitä arvoja aurinkoisen päivän jäähdytysaikoihin, huomaa että aurinkoisena päivänä saadaan hieman yli kaksinkertainen jäähdytysaika. 0,50 kW:n järjestelmä tuottaa siis vielä puolipilviselläkin lähes halutut 2 tuntia elinkaarensa alussa.

Kuvassa 9 on esitetty neljän tunnin laitteiston jäähdytysajat puolipilvisellä. Paneelien tuottamat tehot riittävät noin 3,2 ja 2,8 tunnin jäähdytykseen ennen paneelien ikääntymistä. Nämä ajat laskevat 15 vuoden kuluessa 2,9 ja 2,5 tuntiin ja edelleen 30 vuoden kuluessa noin 2,5 ja 2,1 tuntiin.



KUVA 9. Jäähdytysaika puolipilvisenä päivänä neljän tunnin järjestelmällä

Kuvasta 10 nähdään puolipilvisenä päivänä 12 tunnin järjestelmillä alkuvuosina saatava jäähdytys, joka on noin 9,7 ja 8,4 tuntia. Tämä laskee vuosien kuluessa 7,4 ja 6,4 tuntiin. Nämä ajat riittävät hyvin kyseisellä säällä asunnon viileänä pitämiseen.



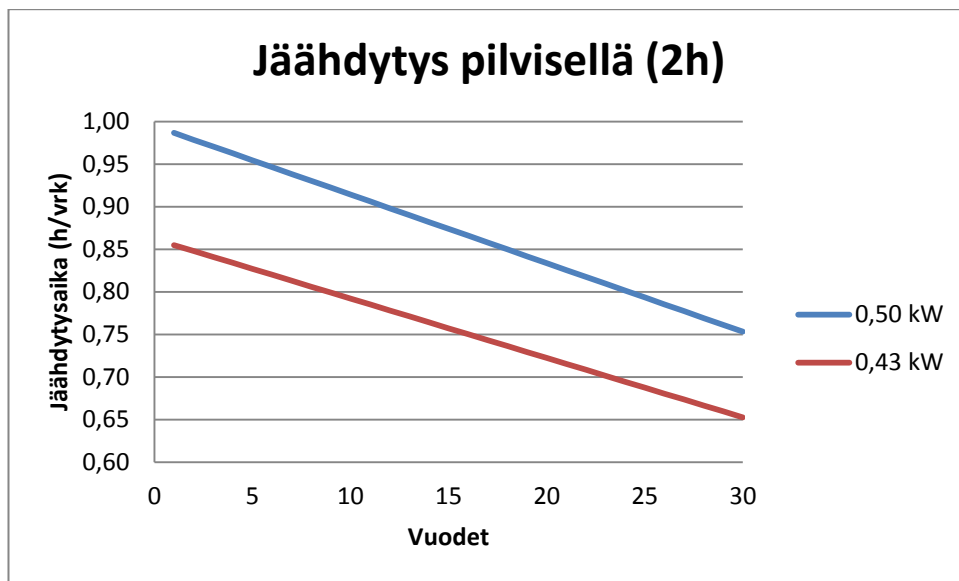
KUVA 10. Jäähdytysaika puolipilvisenä päivänä 12 tunnin järjestelmällä

4.3 Pilvinen kevät- / kesäpäivä

Kun hienot kesäsäät on käyty läpi, voidaan tarkastella mitä laitteistosta saadaan irti päivinä, jolloin aurinko ei näyttäydy. Tällaisina päivinä aurinkopaneelien tuottama

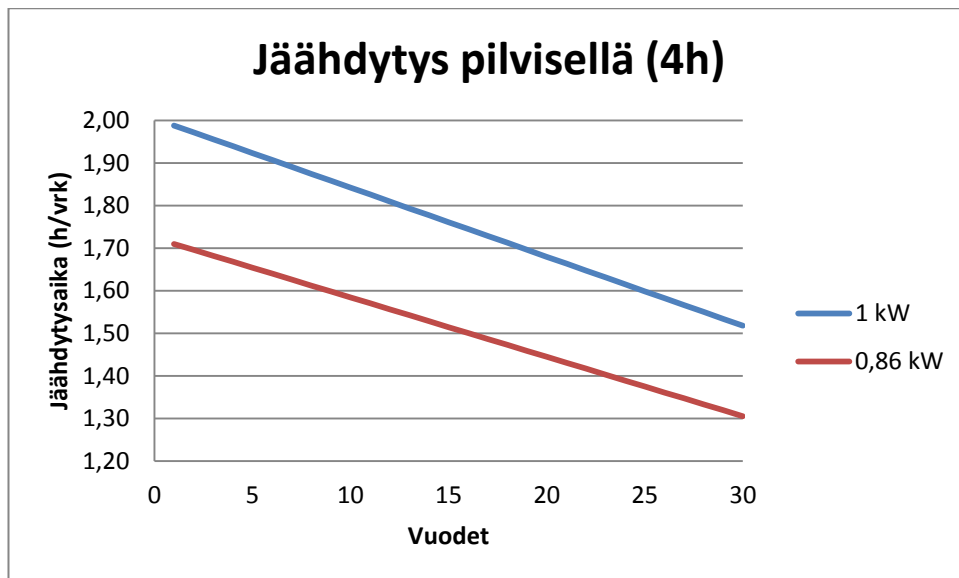
energia muodostuu pilvien kautta ja niiden läpi heijastuneista auringon säteistä. Paneelien energian tuotto ei ole kovin suurta ja huipunkäyttöaikakin on vain 2,44 tuntia. [4]

Kuvasta 11 nähdään kuinka 0,50 kW: paneeleilla saadaan tuotettua tehoa vain alle tunnin jäähdytykseen ja 0,43 kW:n paneeleilla tuo aika on vain 0,85 tunnin luokkaa. Tilanne 30 vuoden kuluttua näissä järjestelmissä on 0,75 ja 0,65 tuntia, joka vastaa 45 ja 39 minuuttia.



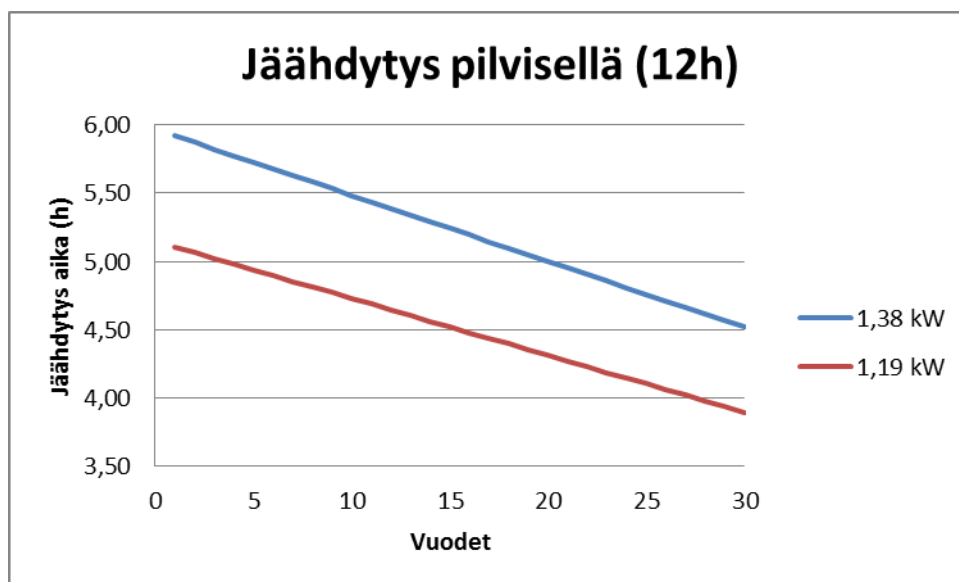
KUVA 11. Jäähdytysaika pilvisenä päivänä kahden tunnin järjestelmällä

Kuvasta 12 nähdään, kuinka 1 kW:n ja 0,86 kW:n laitteistojen tuottama teho riittää vajaan 2 ja 1,7 tunnin jäähdytykseen. 30 vuoden kuluttua jäähdytysaika on laskenut jo 1,5 ja 1,3 tuntiin. Vaikka nämä ajat eivät ole lähelläkään haluttua arvoa, riittävät ne kuitenkin asuinmukavuuden ylläpitämiseen, sillä jäähdytyksen tarve pilvisellä säällä on varsin vähäinen.



KUVA 12. Jäähdytysaika pilvisenä päivänä neljän tunnin järjestelmällä

Kuvassa 13 on esitetty kokopäiväisen jäähdytyksen toiminta pilvisellä säällä. Isommalla paneelistolla saadaan alkuvuosina vielä lähes kuuden tunnin jäähdytys, joka laskee 30 vuoden kuluttua 4,5 tuntiin. Pienempi järjestelmä tarjoaa hieman yli viiden tunnin jäähdytyksen, joka laskee ajan myötä alle neljään tuntiin.



KUVA 13. Jäähdytysaika pilvisenä päivänä 12 tunnin järjestelmällä

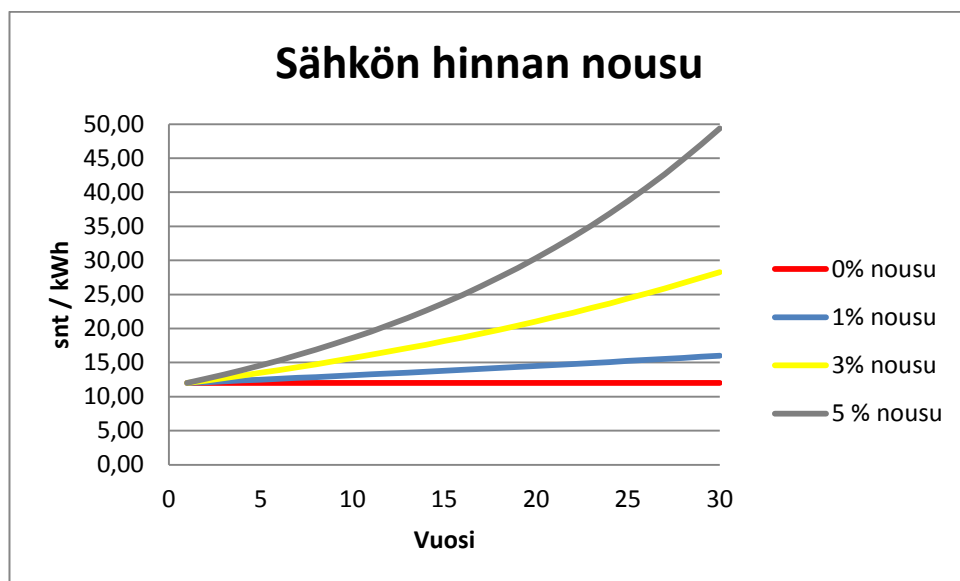
5 HINTALASKELMAT

Tässä osiossa tarkastelemme kuinka paljon järjestelmän rakentaminen maksaa. Lisäksi huomioimme muun muassa akun ja invertterin vaihdosta koituvat kustannukset. Kaikki laskut on tehty 30 vuoden ajalle, sillä se on aurinkopaneelin käyttöikä.

Laitteiston ikääntymisestä johtava tuotannon heikkeneminen on otettu huomioon. Vastapainoksi sähkön hinta on määritelty nousemaan kolmen erilaisen skenaarion mukaan ja pysymään samana. Nämä skenaariot ovat 1, 3 ja 5%:n nousu vuodessa.

Ilmalämpöpumpun kustannuksia ei ole tässä työssä otettu huomioon, sillä oletuksena on että taloon on jo hankittu sellainen. Ilmalämpöpumppu on kannattavin sähkölämmitteisessä omakotitalossa, jonka vuoksi sähkön hinta on laskettu sen mukaan.

Sähkön hinnassa on otettu huomioon perusmaksu, siirtomaksu ja verot. Sähkölämmitteisen omakotitalon keskimääräinen sähkön hinta tällä hetkellä on 12 snt/kWh. [10] Kuvasta 14 nähdään kuinka sähkön hinta nousee 30 vuoden aikana neljän eri skenaarion mukaan. Sähkön hinta kaksinkertaistuu neljännen skenaarion mukaan noin 15 vuodessa.



KUVA 14. Sähkön hinnan noususkenaariot

5.1 Laitteiston hinnat

Aurinkopaneelien hinnat vaihtelevat valmistajasta ja maahantuojasta riippuen. Hintaerot ovat varsin suuria, sillä tähän suunnitelmaan halutaan pienikokoisia paneeleita. Taulukosta 1 voi nähdä kuinka paljon edullinen aurinkopaneeli keskimääräisesti maksaa. Hintaan sisältyy asennustelineet ja kytkentäkaapelit.

TAULUKKO 1: Paneelien hinnat wattia kohden [11]

Paneelien koot (W)	Hinta (€/W)
250 - 500	1,88
500 - 750	1,51
750 - 2000	1,35
2000 - 5000	1,25

Paneelien hinnat wattia kohden laskevat nopeasti järjestelmän koon kasvaessa. Taulukosta 1 huomaa selkeästi kuinka suuri ero on 250 watin ja 2000 watin laitteistojen välillä. Tästä seuraa että isommalla järjestelmällä tuotetun sähkön hinta on pienempi kuin pienemmällä.

Tähän työhön valitut paneelit ovat varsin pienitehoisia. Tästä seuraa etteivät niiden hinnatkaan ole kauhean korkeat. Taulukkoon 2 on listattu tarvitsemiemme paneelien hinnat.

TAULUKKO 2: Valittujen paneelien hinnat

Paneelien koot (W)	Hinta (€)
430	808 €
500	755 €
860	1 161 €
1000	1 350 €
1190	1 607 €
1380	1 863 €

Akun aiheuttamat kulut ovat suuri menoerä tässä työssä, koska aurinkosähkön tuotannossa on hyvä käyttää keskivertoa kalliimpia agm-akkua. Lisäksi akut kuluvat suhteellisen nopeasti ja niiden vaihto täytyy suorittaa useampaan kertaan laitteiston elinkaaren aikana.

Kaikissa esimerkeissä pärjätään vain kahdella akkukoolla. Jokaisen esimerkin pienempi malli tarvitsee 471 Ah:n akuston, jonka hinta on noin 1800 €. Isommat mallit tarvitsevat 546 Ah:n akustot, joiden hinnat ovat noin 2250 €. [12] Erona akustojen hinnoissa on vaihtotiheys.

Kaikissa esimerkeissä suoritetaan jäähdytys huhtikuun ja elokuun välisenä aikana, jolloin käyttöpäiviä voidaan arvioida olevan 140. Akuston lataus- / purkusykli on 1400. Ensimmäisessä esimerkissä akusto puretaan kerran päivässä, jolloin se tarvitsee vaihtaa 10 vuoden välein. 30 Vuoden laskujaksolla tämä tarkoittaa kolmea akustoa. 0,43 kW:n järjestelmässä akustoihin menee rahaa yhteensä 5 400 € ja 0,50 kW:n järjestelmässä puolestaan 6 750 €.

Toisessa esimerkissä purkukertoja on kaksi päivässä. Tästä johtuu, että akusto vanhenee kaksinkertaisella nopeudella, jolloin se tulee uusiksi viiden vuoden välein. 0,86 kW:n paneeliston akustoinvestointeihin menee 10 800 € ja 1 kW:n paneeliston akustoihin 13 500 €.

Kolmannessa esimerkissä akusto puretaan myös kaksi kertaa päivässä. Edellisen esimerkin mukaan akustojen kokonaishinnat ovat 1,19 kW:n järjestelmässä 10 800 € ja 1,38 kW:n järjestelmässä 13 500 €.

Invertterin hinnoittelu on jälleen yksinkertaisinta. Keskivertohinta akkukäyttöinvertterille näihin kaikkiin järjestelmiin on 630 € ja se tarvitsee vaihtaa kerran. [9] Näin ollen invertterin kokonaisinvestoinnit ovat 1260 € kaikissa malleissa.

Taulukosta 3 nähdään kustannukset 30 vuoden ajalta. Siitä huomaa heti kuinka akusto vie todella suuren osuuden koko kustannuksista. Akut kehittyvät ja hinnat laskevat kehityksen myötä ja tämä otetaan huomioon seuraavassa osiossa. Paneelisto ja invertterit tuottavat keskenään lähes yhtä suuret kustannukset.

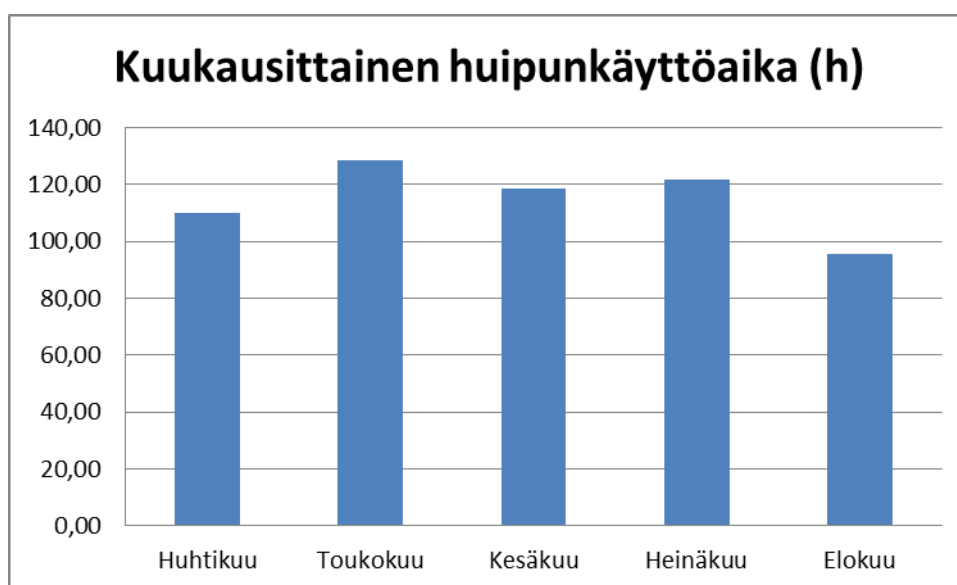
TAULUKKO 3: Laitteiston kustannukset 30 vuoden ajalta

Järjestelmän koko (W)	Paneeliston hinta (€)	Invertterien hinta (€)	Akustojen hinta (€)	YHT (€)
430	808 €	1 260 €	5 400 €	7 468 €
500	755 €	1 260 €	6 750 €	8 765 €
860	1 161 €	1 260 €	10 800 €	13 221 €
1000	1 350 €	1 260 €	13 500 €	16 110 €
1190	1 607 €	1 260 €	10 800 €	13 667 €
1380	1 863 €	1 260 €	13 500 €	16 623 €

5.2 Laitteiston sähköntuotanto euroissa

Seuraavaksi tarkastellaan kuinka paljon sähköä mikäkin järjestelmä tuottaa. Lisäksi lasketaan kuinka paljon tämä sähkö maksaisi euroissa, jos se ostettaisiin sähköverkosta. Tämä tarkastelu tapahtuu neljän eri skenaarion mukaan, jotka ovat mainittu aikaisemmin.

Kuvasta 15 nähdään mikä on kuukausittainen huipunkäyttöaika Etelä-Suomessa. Huhti- ja elokuun välisenä aikana yhteen laskettu huipunkäyttöaika on 575 h. Kun tällä luvulla kerrotaan paneelin nimellisteho, saadaan tuotetun sähkön määrä.



KUVA 15: Huipunkäyttöaika kuukausittain [2]

Huipunkäyttöajan ollessa tiedossa voidaan laskea paneelien tuotannot 30 vuoden ajalle. Tähän on otettu huomioon kaikki aiheutuvat häviöt ja paneelin ikääntymisestä johtuva

tuotannon laskeminen. Taulukkoon 4 on listattu järjestelmien tuottamat sähkön määrät ja niiden hinnat, jos se olisi ostettu verkosta.

TAULUKKO 4: Järjestelmien tuotanto 30 vuoden ajalta

Järjestelmän koko (W)	Tuotanto (kWh)	€ (0 %)	€ (1 %)	€ (3 %)	€ (5 %)
430	5 324	639	736	993	1 369
500	6 191	743	855	1 154	1 591
860	10 648	1 278	1 471	1 985	2 737
1 000	12 381	1 486	1 711	2 308	3 183
1 190	15 892	1 907	2 196	2 963	4 085
1 380	18 429	2 212	2 547	3 436	4 738

Sähkön hinnan nousulla on suuri merkitys näissä laskelmissa. Kaikissa järjestelmissä nollan ja viiden prosentin nousun ero näkyy yli kaksinkertaisena loppusummana. noin 5 prosentin vuosittainen hinnan nousu onkin kohtalaisen todennäköistä ja sähkön hinnan samana pysyminen on miltei mahdotonta.

5.3 Laitteiston kannattavuus tällä hetkellä

Laitteiston kannattavuuden selvittämisessä on tarkasteltu järjestelmien hintojen ja tuottojen välisiä eroja. Vertailut ovat tehty 30 vuoden päähän ja ilmoitettu summana jonka tuona aikana säästää tai menettää.

Kun vertaillaan eri skenaarioiden loppusummia, huomataan, ettei näillä hinnoilla ole mitään rahallista hyötyä. Taulukkoon 5 listattuja summista ei yksikään ole positiivinen. Tämä tarkoittaa, ettei yksikään järjestelmä, millään skenaariolla säästä rahaa. Suurimpana ongelmana ovat akustojen hinnat ja tiheä vaihtotarve.

TAULUKKO 5: Järjestelmien kannattavuus 30 vuoden laskuajalta

Järjestelmän koko (W)	€ (0 %)	€ (1 %)	€ (3 %)	€ (5 %)
430	-6 830	-6 733	-6 476	-6 100
500	-8 022	-7 910	-7 611	-7 174
860	-11 943	-11 750	-11 236	-10 484
1 000	-14 624	-14 399	-13 802	-12 927
1 190	-11 759	-11 471	-10 703	-9 581
1 380	-14 411	-14 076	-13 187	-11 885

5.4 Laitteiston kannattavuus tulevaisuudessa

Omakotitalon jäähdytys akkukäyttöisellä järjestelmällä ei tällä hetkellä ole taloudellisesti kannattavaa. Vaikka akkuteknologia on kehittynyt vuosien varrella, ei se ole vielä kyllin kustannustehokas tällaiseen järjestelmään.

Seuraavaksi tarkastelemme kuinka paljon akkujen hintojen tulisi laskea, jotta päästäisiin sijoituksessa positiivisiin lukemiin. Tätä vertaillaan niin euro- kuin prosenttimääräisestikin.

Taulukossa 6 on esitetty kuinka paljon akuston tulisi aiheuttaa kustannuksia laitteiston koko elinkaaren aikana, jotta sähkön hinta olisi sama niin verkosta kuin laitteistostakin. Tällä lukemalla ei tuoteta siis voittoa euroakaan, vaan hyödyt ovat enemmänkin ekologisia. Kuten taulukosta nähdään, ovat summat jota akustoon voidaan investoida todella pieniä.

TAULUKKO 6: Akuston kokonaiskustannukset, joilla päästäisiin nolla tulokseen

Järjestelmän koko (W)	€ (0 %)	€ (1 %)	€ (3 %)	€ (5 %)
430	-	-	-	-
500	-	-	-	-
860	-	-	-	316
1 000	-	-	-	573
1 190	-	-	97	1 219
1 380	-	-	313	1 615

Taulukkoon 7 on laskettu kuinka monta prosenttia akustojen hintojen tulisi laskea, jotta ne olisivat samat kuin taulukossa 6 esitetyt. Nämä prosentit ovat erittäin suuria ja ellei akut kehity yhtäkkiä räjähdysmäisesti, ei näitä tuloksia voida saavuttaa.

TAULUKKO 7: Akuston alennus prosentteina, joilla päästäisiin nolla tulokseen

Järjestelmän koko (W)	€ (0 %)	€ (1 %)	€ (3 %)	€ (5 %)
430	-	-	-	-
500	-	-	-	-
860	-	-	-	97
1 000	-	-	-	96
1 190	-	-	99	89
1 380	-	-	98	88

Laitteiston suunnitelmiin on käytetty markkinoiden kärkipäätä olevia akkuja. Näillä akuilla elinkaari on paljon pidempi kuin halvemmilla malleilla. Seuraavaksi tutkimme kuinka paljon kustannukset muuttuvat edullisemmilla laitteilla. Oletuksena on, että valitun akun elinkaari olisi sama kuin aiemmin lasketuissa. Tämä voi olla mahdollista, mutta takeita riittävästä lataus / purkusyklimäärästä ei ole.

Samanlaiset akkujärjestelmät edullisemmilla malleilla maksavat 1000 € ja 1250 €. [13] Taulukosta 8 nähdään kuinka paljon kustannukset olisivat 30 vuoden ajalta. Akuston osuus kokonaiskustannuksista pienenee huomattavasti taulukkoon 3 verrattuna. Kaikissa järjestelmissä akustojen kokonaiskustannukset tippuvat liki 45 prosenttia ja suurimmassa järjestelmässä akuston osuus kokonaiskustannuksista tippuu 81 prosentista 71 prosenttiin.

TAULUKKO 8: Laitteiston kustannukset 30 vuoden ajalta

Järjestelmän koko (W)	Paneeliston hinta (€)	Invertterien hinta (€)	Akustojen hinta (€)	YHT (€)
430	808 €	1 260 €	3 000 €	5 068 €
500	755 €	1 260 €	3 750 €	5 765 €
860	1 161 €	1 260 €	6 000 €	8 421 €
1000	1 350 €	1 260 €	7 500 €	10 110 €
1190	1 607 €	1 260 €	6 000 €	8 867 €
1380	1 863 €	1 260 €	7 500 €	10 623 €

Taulukossa 9 on esitetty kuinka paljon edullisemmalla järjestelmällä menetetään rahaa 30 vuoden laskuajalla. Vaikka tulokset eivät ole vieläkaan kannattavia, verrattuna taulukon 5 tuloksiin ne ovat jo huomattavasti parempia. Suurimman paneeliston ja korkeimman sähkön hinnan nousun häviöt laskevat yli 50 prosentilla.

TAULUKKO 9: Järjestelmien kannattavuus 30 vuoden laskuajalta

Järjestelmän koko (W)	€ (0 %)	€ (1 %)	€ (3 %)	€ (5 %)
430	-4 430	-4 333	-4 076	-3 700
500	-5 022	-4 910	-4 611	-4 174
860	-7 143	-6 950	-6 436	-5 684
1 000	-8 624	-8 399	-7 802	-6 927
1 190	-6 959	-6 671	-5 903	-4 781
1 380	-8 411	-8 076	-7 187	-5 885

6 YHTEENVETO

Aurinkosähkön tuotanto on kasvanut nopealla tahdilla viimeisten vuosikymmenten aikana. Kahtena pääsyynä on laitteistojen hintojen aleneminen ja ihmisten kasvava kiinnostus kyseisellä saralla. Ekologinen ja rahallinen hyöty ovat molemmat tärkeitä syitä aurinkosähkön yleistymiseen.

Tässä työssä perehdyttiin omakotitalon jäähdyttämiseen aurinkosähköllä. Tämä toteutettiin erillisellä akkukäyttöisellä järjestelmällä, jotta talon pääkeskukseen ei tarvitsisi tehdä muutoksia. Järjestelmässä ladattiin akustoa, jonka varastoimaa energiaa hyödynnettiin ilmalämpöpumpun käyttöön. Akuston ja ilmalämpöpumpun välille asennettiin invertteri, jolla akuston tasasähkö muunnettiin vaihtosähköksi.

Työn alussa perehdyttiin laitteiston rakenteeseen ja mitoittamiseen. Järjestelmään valittiin muutama erilainen jäähdytysmalli, joiden mukaan mitoitettiin paneelistojen koot. Paneeleista laskettiin maksimituotanto, jonka avulla laskettiin tarvittava akun koko. Invertteri valittiin näiden jälkeen tarvittavan tehon mukaan.

Työssä selvitettiin kuinka paljon erilaiset sääolot vaikuttavat jäähdytysaikoihin. Tämä oli jaoteltu aurinkoiseen, puolipilviseen ja pilviseen kevät- / kesäpäivään. Tässä osiossa selvitettiin seikkaperäisesti, kuinka laitteiston vanheneminen vaikuttaa jäähdytysaikaan.

Viimeisessä osiossa tarkasteltiin laitteiston kustannuksia. Hinnat nousivat varsin korkeiksi akkujen korkeiden hintojen ja tiheän vaihtotarpeen vuoksi. Järjestelmän hintoja verratessa sähkön hintaan, ei edes viiden prosentin vuosittainen sähkön hinnan nousu tee laitteistosta kannattavaa.

Lopuksi tarkasteltiin kuinka kävisi, jos huomattavasti halvemman akuston elinkaari olisi yhtä pitkä kuin työssä käytetyn. Tämä paransi tulosta parhaimmillaan yli 50 prosenttia, mutta ei siltikään saanut aikaan tuottoa 30 vuoden tarkastelujaksolla. Jotta kyseistä järjestelmään voidaan käyttää taloudellisesti kannattavasti, täytyy akuston hinnat pudota ja sähkön hinnan nousta radikaalisti.

Työn lukijan on hyvä pitää mielessä, ettei aurinkosähkön tuotanto ole missään nimessä kannattamatonta. Tulos tässä tutkimuksessa olisi ollut hyvin toisenlainen, jos aurinkopaneelit olisivat olleet suoraan verkkoon kytkettyjä. Tässä työssä haluttiin tutkia nimenomaan vaihtoehtoista toteutusta aurinkosähköjärjestelmästä perinteisen sijaan.

LÄHTEET

- [1] Aki Korpela, 2014. Aurinkosähkön hyödyntämismahdollisuudet suomessa
http://www.punkalaidun.fi/punkalaidun_netli/liitetiedostot/editori_materiaali/17950.pdf
- [2] Minna Paavola, 2012. Diplomityö: Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali tampereella.
http://www.tampere.fi/material/attachments/v/6HSsw1Wei/Diplomityo_Paavola_painettuversio.pdf
- [3] Suntekno. Aurinkopaneelit.
<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>
- [4] Aki Korpela, 2015. SVT seminaarityöt kurssimateriaalit.
- [5] Flinkenberg. Optimaakut.
<http://www.flinkenberg.fi/batteries/optima.html#sthash.M2ep0jwD.dpbs>
- [6] Ilmalämpöpumppu.fi <http://www.ilmalampopumppu.fi/ilmalampopumput.htm>
- [7] SW Energia. Aurinkopaneelijärjestelmän AGM akut.
<http://www.swenergia.fi/mokkilaiset/energia-aurinkojarjestelmat/aurinkopaneelijarjestelman-akut.html>
- [8] Reps. Concorde SunXtender AGM-akut <http://www.reps.fi/fi/main-prod-concorde-fi.htm>
- [9] SW Energia. Akkuinvertterit.
<http://www.swenergia.fi/mokkilaiset/energia-aurinkojarjestelmat/victron-invertterit/victron-sinusmax-121200.html>
- [10] Erään omakotitalon sähkölaskut vuosien varrelta
- [11] Finnwind. Aurinkopaneelit
<http://www.verkkokauppa.finnwind.fi/tuotteet.html?id=6/>
- [12] Marinea. Akut. http://www.marinea.fi/concorde_305_ah_agm-akku
- [13] Marinea. Akut. http://www.marinea.fi/sw_comfort_250_agm-akku_303_ah